

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА БУРЕНИЯ

Пелипенко Николай Андреевич – д.т.н., профессор, кафедра прикладной геологии и горного дела, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, relipenkona@mail.ru

Процук Иван Сергеевич – аспирант, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, инспектор-геолог ООО «ИГИИС», geolog_ivan@mail.ru

Бакланов Руслан Романович – аспирант, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, blackdoom@mail.ru

Ключевые слова: инженерно-геологические изыскания, буримость, скорость бурения, размах вариации, среднее линейное отклонение, дисперсия, среднеквадратичное отклонение, коэффициент вариации.

В исследовании рассматриваются результаты экспериментальных исследований процесса бурения горных пород. Проведен сравнительный анализ скорости проходки скважин в зависимости от категории буримости породы. По каждой из исследуемой категории пород рассчитаны основные статистические показатели, которые помогут оптимизировать процесс бурения.

RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCH DRILLING PROCESS

Pelipenko N.A. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Applied Geology and Mining, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Belgorod State University", relipenkona@mail.ru

Protsuk I.S. – postgraduate student, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Belgorod State University", Inspector-Geologist of IGIS LLC, geolog_ivan@mail.ru

Baklanov R.R. – postgraduate student, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Belgorod State University", blackdoom@mail.ru

Key words: engineering-geological survey, drillability, drilling speed, range of variation, mean linear deviation, dispersion, root-mean-square deviation, coefficient of variation.

The study deals with the problem of statistical modeling of the rock drillability indicators while drilling engineering and geological wells. A comparative analysis of the rate of drilling is performed depending on the category of rock drillability. For each of the studied categories of rocks, the main statistical indicators are calculated, which will help to optimize the drilling process.

В процессе проведения буровых работ было обращено внимание на неодинаковую стойкость инструментов с разрушением пород. А при бурении одной породы было обнаружено явление затирания забоя, преодоление которого требовало дополнительного осевого усилия. Прочность плёнки затирания зависела от твёрдости породы. Поэтому необходимо учитывать это явление при оптимизации параметров режима бурения [1,2,3]. Было замечено, что коронки, имеющие отдельные разрушающие резцы, работают более эффективно, чем стандартные коронки [4,5].

При разведочном бурении неоднократно встречаются слои крепких пород. Исследования, проведённые другими авторами, показали перспективность инструментов, оснащённых алмазосодержащими резцами [6,7,8]. Проведённые коллективом авторов исследования получили обнадёживающие результаты при сравнительных испытаниях буровых коронок с симметричным и асимметричным расположением резцов [9,10,11,12].

Целью настоящего исследования является выявление закономерностей разрушения горных пород коронками с асимметричным располо-

жением зубьев [13,14,15]. Обработка результатов исследования велась с использованием статистических методов выявления закономерностей [15-21]. При обработке экспериментальных данных использовались данные из работ [22,23,24,25].

Для создания математической модели процесса разрушения пород с использованием коронок с асимметричным расположением предполагается использовать метод Монте-Карло, а также численное статистическое моделирование [26,27,28].

В ходе выполнения экспериментальных исследований были изготовлены и в дальнейшем использованы буровые коронки с симметричным и асимметричным расположением режущих зубцов (рисунок 1) с числом зубьев 3, 5, 7 и 11.

Для подтверждения экспериментальных исследований процесса бурения, выполненных в лабораторных условиях, проведены производственные испытания во время инженерно-геологических изысканий при строительстве МГ «Сила Сибири».

Осуществлено статистическое исследование показателей скорости проходки, буримости, осевой нагрузки посредством лабораторного эксперимента. Выявлены основные зависимости и предложена конструкция буровой коронки, обладающая наибольшей износостойкостью и производительностью.

На основании натурных, статистических, лабораторных, а также проведенных на электронном микроскопе исследований имеются предпосылки для создания математической модели, обеспечивающей максимальную скорость проходки инструментов.

После проведения экспериментальных исследований с помощью графоаналитического метода были составлены графики зависимостей времени и скорости проходки от конфигурации бурового инструмента (рисунки 2 – 11). Для статистической чистоты эксперимента проводилось



Рис. 1 – Буровые коронки с 5-ю зубьями, имеющие симметричную (сверху) и асимметричную (снизу) конфигурации

по 6 замеров на каждом образце для коронок с симметричным и асимметричным расположением зубьев.

На рисунке 2 представлен график зависимости по времени в минутах бурения общего интервала проходки, равного 50 мм. Мы видим, что в 3 случаях (1, 2, 3 см. график) на

бурение трёхзубыми коронками с симметричным расположением пластин было затрачено больше времени, чем на бурение с асимметричным расположением. Так как скорость проходки обратно пропорциональна времени, затраченному на бурение, то скорость бурения коронками с

асимметричным расположением зубьев выше, чем с симметричным на 20-25% (см. рисунок 3).

На рисунках 4 и 5 представлены аналогичные графики зависимости по времени и скорости бурения общего интервала проходки, равного 50 мм. На рисунке мы видим, что в 1 и 2 случаях на бурение коронками с пятью зубьями с симметричным расположением пластин было затрачено одинаковое время, а в остальных случаях в среднем затрачено в 1,2-1,8 раза больше времени, чем на бурение с асимметричным расположением. Так как графики скорости и времени бурения зеркально отображаются относительно друг друга, то соответственно скорость бурения в 1,2-1,8 раза выше в указанных случаях (см. рисунок 7).

На рисунке 6 представлен аналогичный график зависимости по времени в минутах бурения общего интервала проходки, на котором во 2, 3 и 4 случаях бурение коронками с симметричным расположением зу-

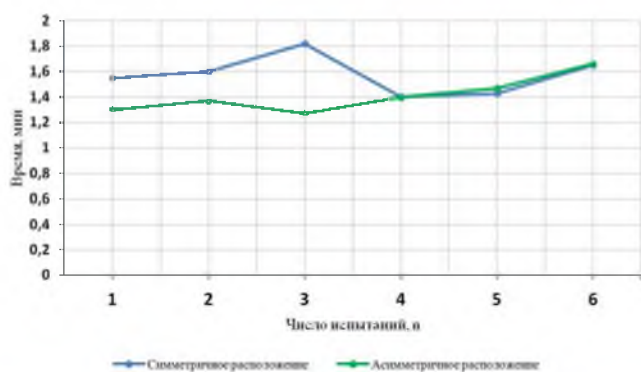


Рис. 2 – График зависимости времени бурения коронками с числом зубьев, равным 3, количество испытаний – 6

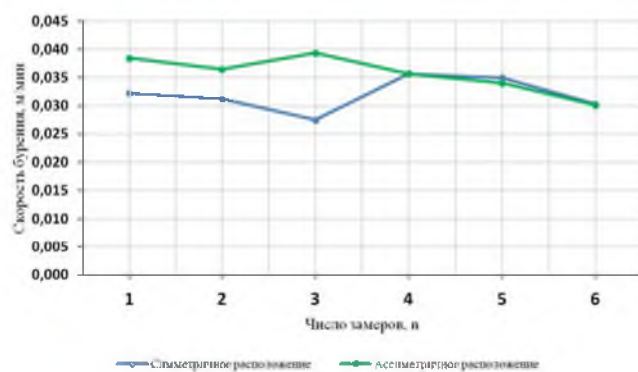


Рис. 3 – График зависимости скорости бурения коронками с числом зубьев, равным 3, количество испытаний – 6

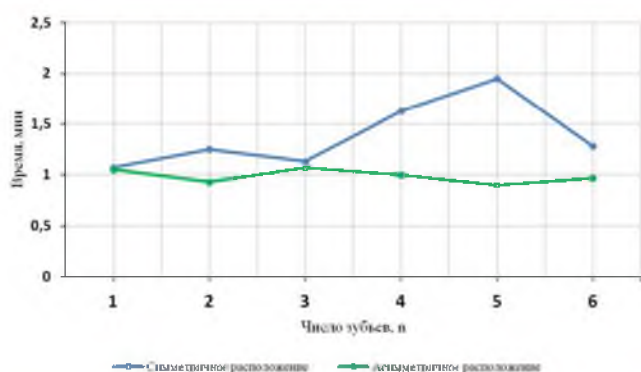


Рис. 4 – График зависимости времени бурения коронками с числом зубьев, равным 5, количество испытаний – 6

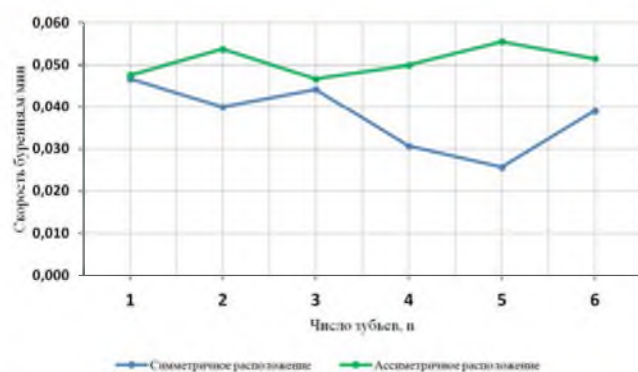


Рис. 5 – График зависимости скорости бурения коронками с числом зубьев, равным 5, количество испытаний – 6

бьев проходило быстрее на 20–30%. На рисунке мы видим, что в 3 случаях (1, 5, 6 см. график) на бурение, как с симметричным расположением пластин, так и с асимметричным расположением затрачено эквивалентное время. В данном случае скорость бурения также тождественна времени бурения (см. рисунок 7).

Представленные графики зависимости по времени и скорости бурения общего интервала проходки (рис. 8, 9) показывают, что во 2, 3 и 4 случае скорость проходки с асимметричным расположением выше на 15–20%, чем при бурении коронками с симметричным расположением.

На рисунках 10 и 11 представлены результирующие графики по максимальным значениям скорости и минимальным значениям времени бурения.

Выводы:

1. Полученные экспериментальные данные позволили установить качественные показатели стойкости инструментов и производительность бурения.

2. Предварительная графическая обработка материалов является основой для установления аналитических формул, описывающих процесс бурения с учётом применения статистических методов.

3. При интенсивной нагрузке в процессе испытаний экспериментальных коронок установлено, что отсутствие затирания забоя, возникающего при бурении, симметрично расположенных зубьев.

4. На основании проведённых исследований предполагается разработать универсальную методику для получения закономерностей, учитывающих буримость, твёрдость и абразивность горных пород.

5. В целом разработанный нами подход является перспективным и будет полезен для широкого круга специалистов, связанных с проведением буровых работ. ■

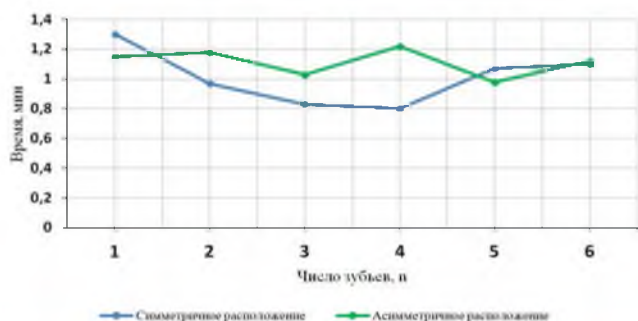


Рис. 6 – График зависимости времени бурения коронками с числом зубьев, равным 7, количество испытаний – 6

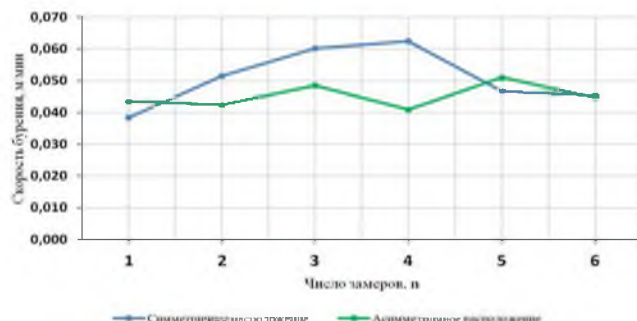


Рис. 7 – График зависимости скорости бурения коронками с числом зубьев, равным 7, количество испытаний – 6

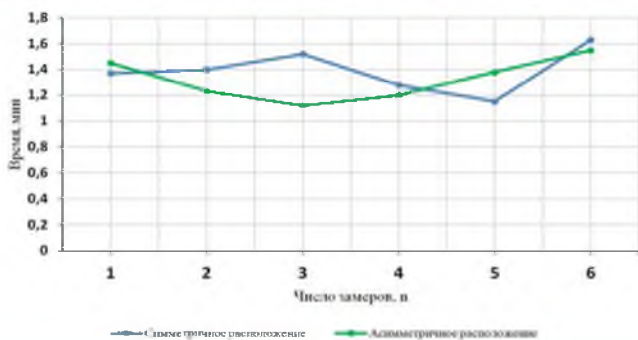


Рис. 8 – График зависимости времени бурения коронками с числом зубьев, равным 11, количество испытаний – 6

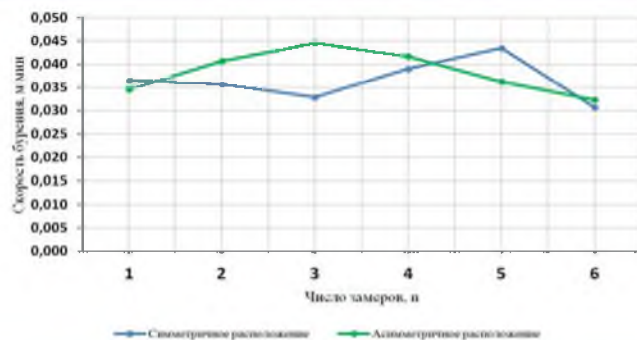


Рис. 9 – График зависимости скорости бурения коронками с числом зубьев, равным 11, количество испытаний – 6

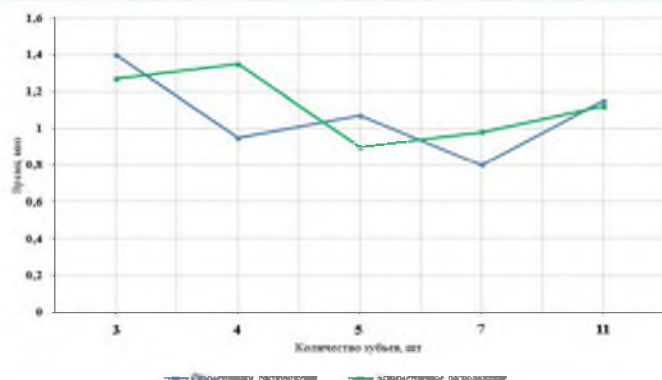


Рис. 10 – Результирующий график зависимости времени бурения коронок от числа зубьев

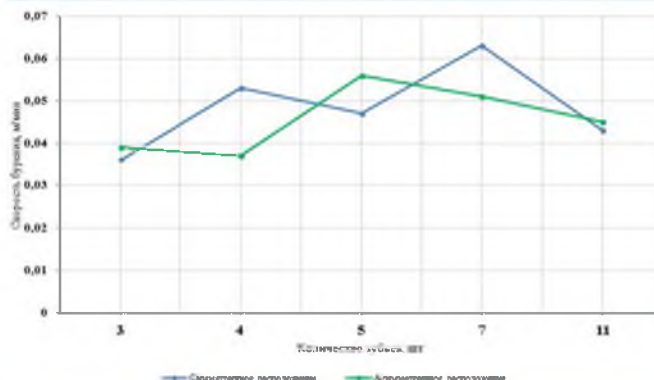


Рис. 11 – Результирующий график зависимости скорости бурения коронок от числа зубьев

Список литературы

1. Рябчиков С.Я. Оптимизация режимных параметров при бурении скважин упрочнённым алмазным породоразрушающим инструментом. *Известия Томского политехнического университета*, 2011. — 5 с.
2. Власюк В.И., Будюков Ю.Е., Рябчиков С.Я. Новые технологии в создании и использовании алмазного породоразрушающего инструмента. — М.: Геоинформмарк, 2006. — 140 с.
3. Козловский Е.А. Оптимизация процесса разведочного бурения. — М.: Недра, 1990. — 304 с.
4. Сулашкин С.С. Разрушение горных пород при бурении скважин. — Томск: Изд-во ТПУ, 2009. — 129 с.
5. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела, М.: 2000. — 494 с.
6. Пыпин Н.В. Износостойкость композиционных алмазосодержащих материалов для бурового инструмента. — Киев: Наукова думка, 1990. — 191 с.
7. http://www.diamond-bit.com/technical_info/features-of-impregnated-diamond-coringbits.html [Электронный ресурс].
8. Wojnar K., Wladislaw W "Wiertnistwo".: Warszawa. 1976. 350p.
9. Rowlands D. Some basic aspects of drilling. "Prog.Jst.Anst.- Conf Cteomech, Melbourne, 1971, Vol 1", Sydney, 1971, 222-231.
10. Пелипенко Н.А., Процук И.С., Добрынин В.Е., Греховодов И.И. К вопросу о физике бурения скальных пород. *Вестник Ассоциации буровых подрядчиков*, №3 2016. — 4с.
11. Пелипенко Н.А., Процук И.С., Бакланов Р.Р. Статистическое исследование показателей буримости горных пород при строительстве МГ «Сила Сибири». *Вестник Ассоциации буровых подрядчиков*, №2 2018. — 8с.
12. Бондаренко В.Н. Статистические решения некоторых задач геологии. М.: Недра, 1970.
13. Дубров А.М., Мхитарян В.С., Трошин Л.И. Многомерные статистические методы: Учеб. М.: Финансы и статистика, 1998. 352с.
14. Дубровская Л.И., Князев Г. Б. Компьютерная обработка естественно-научных данных методами многомерной прикладной статистики: Учебное пособие. — Томск: ТМЛ-Пресс, 2011, — 120 с.
15. Дэвис Дж.С. Статистический анализ данных в геологии / Пер. с англ. В.А. Голубевой; Под ред. Д.А. Родионова. М.: Недра, 1990. Кн. 2. 427 с.
16. Wackernagel H. 1995. *Multivariate Geostatistics*, Springer, Berlin, 256 p.
17. Matheron G. 1973. *The intrinsic random functions and their applications*. Adv. In applied Prob. Vol. 5, p. 439-468.
18. Елисеева И.И. Общая теория статистики: Учебник для вузов. — М.: Финансы и статистика, 2006.
19. Каждан А.Б., Гуськов О.И. Математические методы в геологии. М.: Недра, 1990. 250 с.
20. Статистика: Учебник / Под ред. проф. В. М. Симчеры. — М.: Финансы и статистика, 2005.
21. Cressie N. 1984. Towards resistant geostatistics. — *Geostatistics for natural resources characterisation*. Dordrecht, p.21-44.
22. Ивченко Г.И., Медведев Ю.И. Математическая статистика: Учеб. пособие для вузов. М.: Высшая школа, 1992. 304 с.
23. Статистика: Учебник / А. М. Гордин. — 9-е изд., перераб. и испр. — М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2011. — 460 с.
24. Armstrong M. 1998. *Basic Linear Geostatistics*. Springer — Verlag. Berlin. 152 p.
25. Капутин Ю.Е. Горные компьютерные технологии и геостатистика, СПб, Недра, 424 с., 2002.
26. Михайлов Г.А., Войтишек А.В. Численное статистическое моделирование. Методы Монте-Карло Учебное пособие для студентов вузов. — М.: Академия, 2006. — 368 с. (Прикладная математика и информатика).
27. Armstrong M. 1984. Common problems seen in variograms. — *Mathematical Geology*, V.16, N.3, p.305-313.
28. Journé A.G. 1989. Non-parametric estimation of spatial distributions. *Journal of the Intern.Assoc. of Mathematical Geology*, Vol 1, No.3, p. 445-468.

References

1. Ryabchikov S.Ya. Optimization of operating parameters during drilling with hardened diamond rock cutting tools. *News of Tomsk Polytechnic University*, 2011. — 5 p.
2. Vlasjuk V.I., Budyukov Yu.E., Ryabchikov S.Ya. New technologies in the creation and use of diamond rock-cutting tools. — М.: Geoinformmark, 2006. — 140 p.
3. Kozlovsky E.A. Optimization of the exploration drilling process. — М.: Nedra, 1990. — 304 p.
4. Sulakshin S.S. The destruction of rocks during drilling. — Tomsk: TPU publishing house, 2009. — 129 p.
5. Pavlov P.V., Khokhlov A.F. *Solid State Physics*, M.: 2000. — 494 p.
6. Tsylin N.V. Wear resistance of composite diamond-containing materials for drilling tools. — Kiev: Naukova Dumka, 1990. — 191 p.
7. http://www.diamond-bit.com/technical_info/features-of-impregnated-diamond-coringbits.html [Electronic source].
8. Wojnar K., Wladislaw W "Wiertnistwo".: Warszawa. 1976. 350p.
9. Rowlands D. Some basic aspects of drilling. "Prog.Jst.Anst.- Conf Cteomech, Melbourne, 1971, Vol 1", Sydney, 1971, 222-231.
10. Pelipenko N.A., Protsuk I.S., Dobrynin V.E., Grekhovodov I.I. On the issue of the physics of rock drilling. *Bulletin of the Association of Drilling Contractors*, №3 2016. — 4p.
11. Pelipenko N.A., Protsuk I.S., Baklanov R.R. Statistical study of indicators of rock drillability during the construction of the Power of Siberia gas pipeline. *Bulletin of the Association of Drilling Contractors*, No. 2 2018. — 8p.
12. Bondarenko V.N. Statistical solutions of some problems of geology. М.: Nedra, 1970.
13. Dubrov A.M., Mkhitaran B.C., Troshin L.I. *Multidimensional statistical methods: Textbook*. М.: Finance and Statistics, 1998. 352 p.
14. Dubrovskaya L.I., Knyazev G.B. Computer processing of natural-scientific data by methods of multidimensional applied statistics: Tutorial. — Tomsk: TML-Press, 2011, — 120 p.
15. Davis J.S. Statistical analysis of data in geology / Trans. from English V.A. Golubeva; Ed. D.A. Rodionov. М.: Nedra, 1990. Book 2. 427 p.
16. Wackernagel H. 1995. *Multivariate Geostatistics*, Springer, Berlin, 256 p.
17. Matheron G. 1973. *The intrinsic random functions and their applications*. Adv. In applied Prob. Vol. 5, p. 439-468.
18. Eliseeva I.I. General theory of statistics: Textbook for universities. — М.: Finance and Statistics, 2006.
19. Kazhdan A.B., Guskov O.I. Mathematical methods in geology. М.: Nedra, 1990. 250 p.
20. Statistics: Textbook / Ed. prof. V.M. Simcher. — М.: Finance and Statistics, 2005.
21. Cressie N. 1984. Towards resistant geostatistics. — *Geostatistics for natural resources characterization*. Dordrecht, p.21-44.
22. Ivchenko G.I., Medvedev Yu.I. *Mathematical Statistics: Textbook for technical colleges*. М.: Higher School, 1992. 304 p.
23. Statistics: Textbook / A.M. Godin. — 9th ed., revised and amended. — М.: Publishing and Trading Corporation "Dashkov and K°", 2011. — 460 p.
24. Armstrong M. 1998. *Basic Linear Geostatistics*. Springer — Verlag. Berlin. 152 p.
25. Kaputin Yu.E. Mountain computer technologies and geostatistics, St. Petersburg, Nedra, 424 p., 2002.
26. Mikhailov A.A., Voityshek A.V. Numerical statistical modeling. Monte Carlo Methods Study Guide for University Students. — М.: Academy, 2006. — 368 p. (Applied Mathematics and Computer Science).
27. Armstrong M. 1984. Common problems seen in variograms. — *Mathematical Geology*, V.16, N.3, p.305-313.
28. Journé A.G. 1989. Non-parametric estimation of spatial distributions. *Journal of the Intern.Assoc. of Mathematical Geology*, Vol 1, No.3, pp. 445-468.